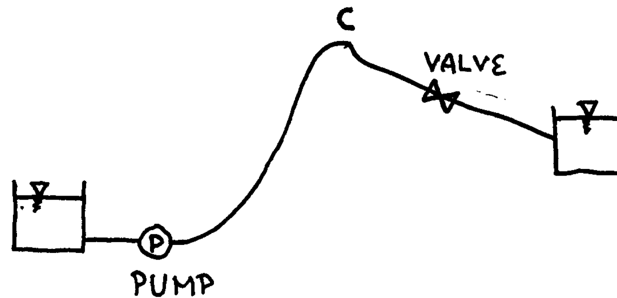
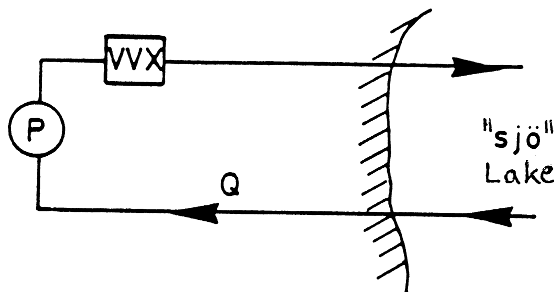
EXEMPEL PÅ UPPGIFTER, DELPROV 2 (Gamla x-tentatal)

Rörströmning

1. Rita ut trycknivålinjen (linjen markerande piezometriska höjden) för rörledningen nedan om trycket i toppunkten C är lika med atmosfärstrycket. Tag hänsyn till lokala förluster vid rörinlopp, rörutlopp och vid ventilen.



2. I en värmepumpsanläggning pumpas vatten från en sjö kontinuerligt via en 500 m lång ledning (D = 250 mm, k_s = 0.025 mm) och värmeväxlare (VVX). Därefter avbördas vattnet till sjön igen. Pumpegenskaper framgår av tabellen nedan. Värmeväxlaren kan ur strömningssynpunkt behandlas som en lokal förlust med förlustkoefficienten K_{VVX} = 15. Summan av alla andra lokala förluster uppgår till $5U^2/2g$. Vad är vattenföringen i ledningen? Antag $\nu = 1\cdot10^{-6}$ m^2/s.



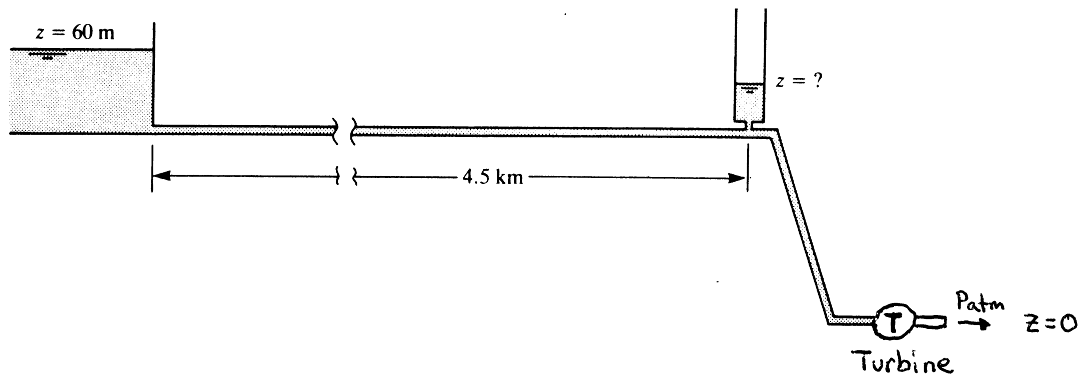
Pumpens karakteristika är:

H_P (m)	6	5.6	4.9	4.0	2.8
Q_P (l/s)	0	20	40	60	80

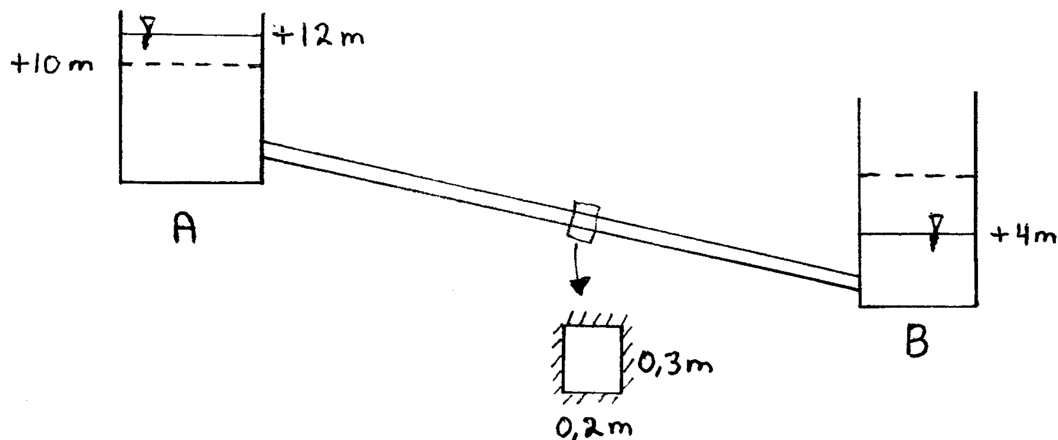
3. En cirkulär tunnel, 3 m i diameter och med en friktionsfaktor, f = 0.01, sammanbinder en reservoir med en vattenkraftsstation. Tunneln är 5 km lång och det finns ett s.k. svalltorn 0.5 km från stationen, se figur. (Svalltornet är till för att skydda turbinen mot tryckvågor som uppstår i samband med flödesförändringar, men fungerar som en piezometer under stationära strömningsförhållanden). Vattenytan i reservoiren ligger 60 meter högre än utloppet från turbinen, där vattnet avbördas till atmosfären.

a) Bestäm vilken nivå vattenytan i svalltornet kommer att ligga på när det inte är något flöde i tunneln (stängd ventil precis innan turbinen)

b) Bestäm vattenföringen i tunneln och vattenytenivån i svalltornet när stationär strömning råder i tunneln och när trycknivåfallet över turbinen (från slutet på tunneln precis innan turbinen till utloppet från turbinen) är 45 m H_2O. Antag att hastigheten vid utloppet är den samma som i tunneln. Försumma lokala förluster undantaget turbin.

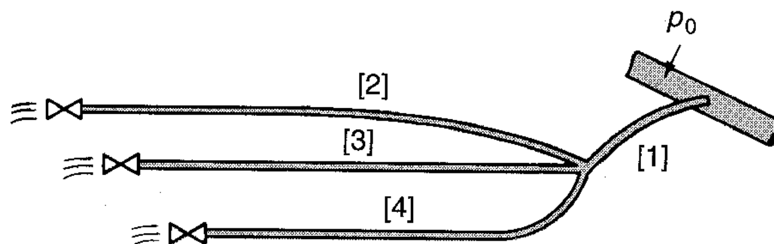


4. Vatten strömmar från reservoir A, med en konstant ytarea på 100 m^2, till reservoir B, med en konstant ytarea på 50 m^2, genom en rektangulär (0.2 × 0.3 m) rörledning, med en längd L = 200 m, och en friktionsfaktor, f = 0.025. Summan av de lokala förlusterna genom rörledningen är $4.0 \cdot (V^2/2g)$. Vattenytan i reservoir A är initiellt på nivån +12 m och på nivån +4 m i reservoir B. Bestäm tiden det tar att sänka vattenytan i reservoir A till + 10 m. Glöm inte att vattenytan kommer att ändras kontinuerligt i reservoir B under denna tid. Anta att den stationära formen på energiekvationen kan användas för att beskriva flödet i rörledningen, dvs att accelerationstermen kan försummas. Det finns inget inflöde till reservoir A och inget utflöde från reservoir B.



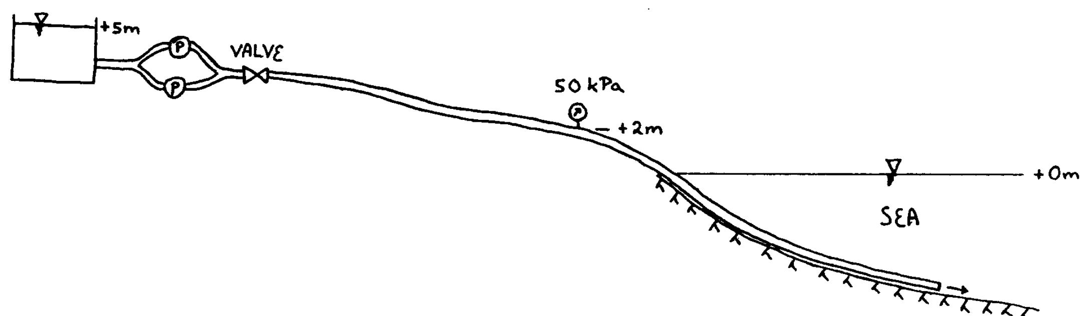
5. Bevattningssystemet i figuren nedan är anslutet till ett rör med stor diameter och ett konstant inre tryck p_0 = 300 kPa. Systemet är placerat horisontellt. Bestäm vattenflödet Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 för givna data. K står för den totala (sammanlagda) lokala förlustkoefficienten (inkluderat ventil) för varje ledning."

Pipe	L (m)	D (mm)	F	K
1	30	75	0.020	1
2	100	60	0.015	5
3	85	40	0.022	4
4	70	50	0.025	3



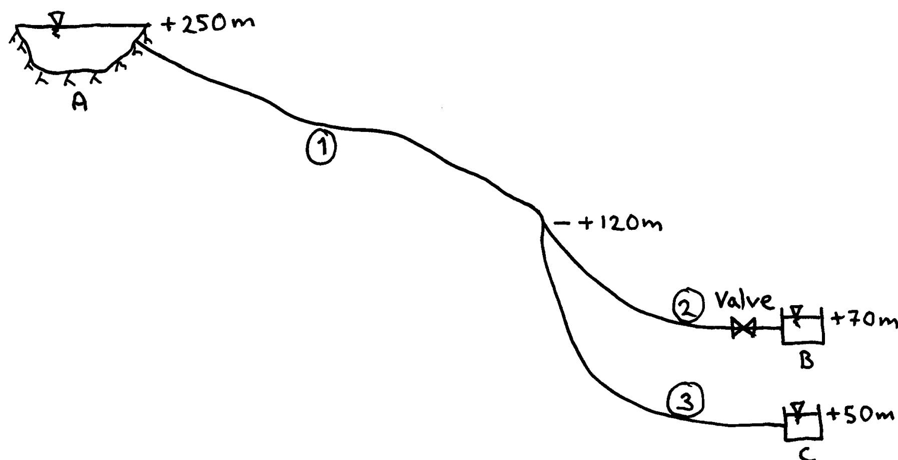
6. Behandlat avloppsvatten pumpas med två identiska pumpar (se pumpkarakteristika för en pump nedan) som arbetar parallellt från en reservoir via en rörledning till havet enligt figuren nedan. En ventil efter pumparna används för att reglera flödet. Om tryckmätaren, som är placerad halvvägs längs rörledningen, visar ett tryck på 50 kPa för en viss ventilinställning, bestäm flödet i rörledningen och den lokala förlustkoefficienten för ventilen, K_V. Rörledningens längd, diameter och råhet är 4 km, 300 mm, samt 0.3 mm. Tryckmätaren är placerad på ett avstånd av 2 km från rörledningens utlopp. Temperaturen hos det strömmande vattnet är 20°C. Försumma alla lokala förluster förutom över ventilen. Karakteristika för en pump är:

H_P (m)	15	13.5	11.5	7.5	2.5
Q_P (l/s)	0	15	30	45	60



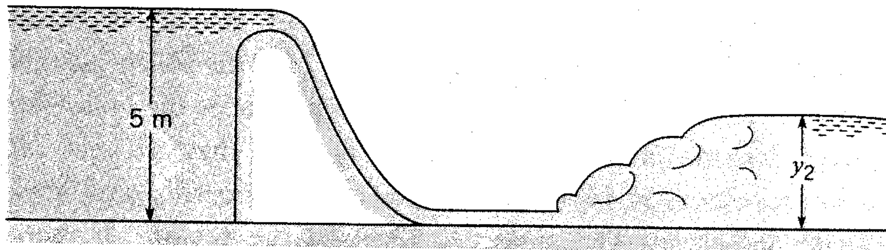
7. Färskvatten till två städer (motsvarande reservoir B och C) hämtas från en sjö (A) via tre rörledningar, se figur nedan. Om flödet genom ledning 2 när ventilen är helt öppen (K_{ventil} = 0) reduceras med 50% genom att delvis stänga ventilen, vad kommer flödesökningen bli till reservoir C? Data för de tre rörledningarna ges i tabellen nedan. Observera att alla tre rören har rektangulära tvärsnittsareor. Anta rå turbulent strömning och att alla lokala energiförluster är försumbara, undantaget över den delvis stängda ventilen i rörledning 2.

Pipe	Length (km)	Cross-section area	Roughness, k_s (mm)
1	20	0.5 m × 0.5 m	5
2	7	0.4 m × 0.4 m	4
3	10	0.3 m × 0.3 m	3

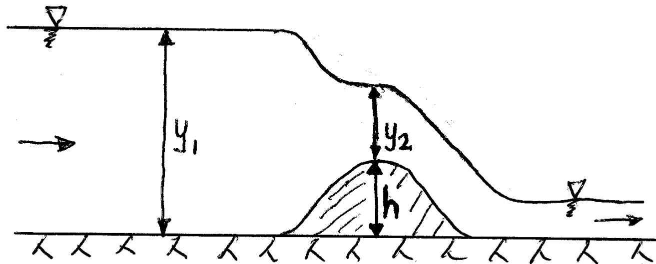


<u>Kanalströmning</u>

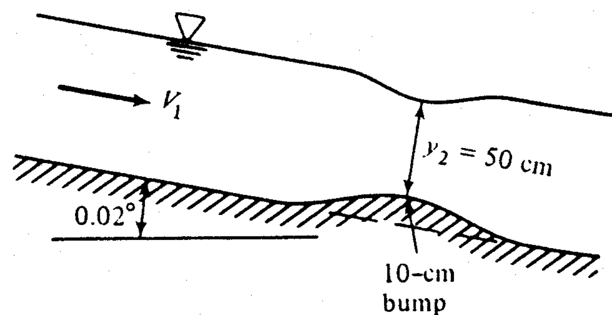
8. Flödet över damavloppet i figur 2 är 2.0 m^3/s och breddmeter (in i pappret). Hur stort är djupet y_2 nedströms det hydrauliska språnget? Antag att energiförlusten är försumbar över damavloppet.



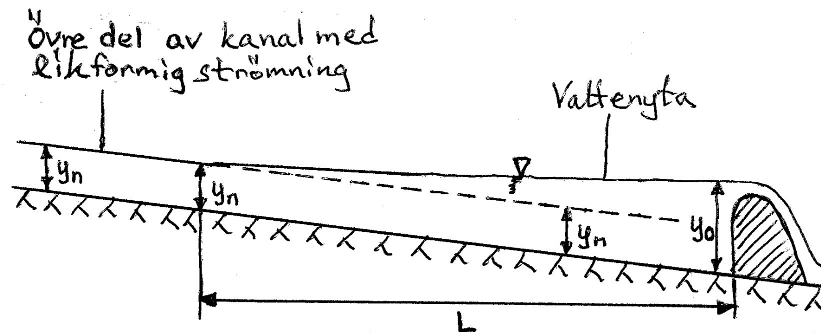
9. Vatten strömmar över en tröskel i en kanal, se figur nedan. Vattendjupet över tröskeln, y_2, är 0.6 m. Tröskelns höjd ovan kanalbotten, h, är 0.4 m. Antag bred rektangulär kanal och att energiförlusten över tröskeln är försumbar.
a) Bestäm flödet per breddmeter i kanalen
b) Bestäm vattendjupet, y_1, i kanalen uppströms tröskeln.



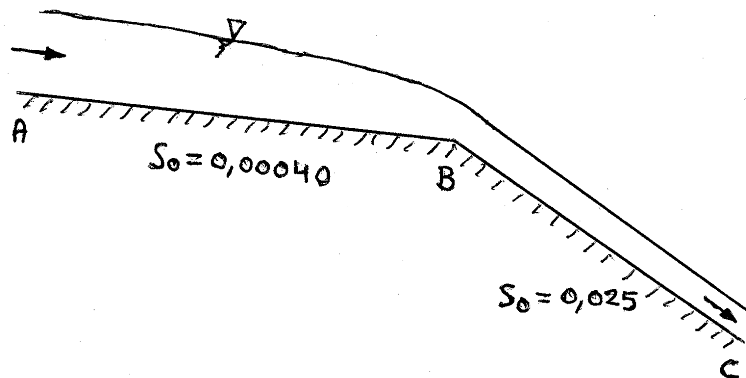
10. Ett likformigt vattenflöde i en bred kanal (Mannings n = 0.015) med bottenlutningen 0.02° strömmar över en 10 cm hög tröskel, se figur nedan. Resultatet blir en något lägre belägen vattenyta över tröskeln. Om vattendjupet över tröskeln är y_2 = 50 cm, bestäm flödet per breddmeter (in i pappret) av kanalen.



11. Vatten strömmar vid naturligt vattendjup i en rektangulär betongkanal (Mannings n = 0.013) som är 12 m bred. Nedströms finns ett damliknande överfall som dämmer upp vatten och således höjer vattennivån över det naturliga över en sträcka L, se figur nedan. Vattenföringen är 126 m^3/s och kanalens bottenlutning är 0.00086. Vattendjupet just uppströms överfallet (y_0) är 4.55 m. Bestäm avståndet, L från överfallet till en punkt uppströms där vattendjupet motsvarar naturligt vattendjup (y_n).

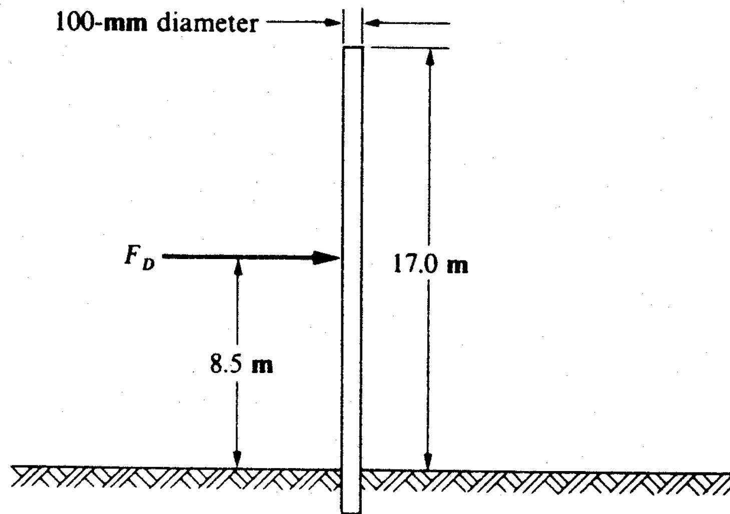


12. Vatten strömmar i en rektangulär betongkanal (Mannings n = 0.013) som är 2 m bred, se figur nedan. Vattenflödet är 0.7 m^3/s. Bestäm vattenyteprofilen genom kanalen.



Strömning kring kroppar

13. Pålen i figuren nedan är en cylinder med diametern 100 mm. En vind på 15 m/s blåser mot den. Lufttemperaturen är 0°C. Bestäm momentet av dragkraften kring pålens bas (vid marknivå). Försumma ändeffekter.



14. Ett klot med diametern 70 mm och vikten 350 gram sjunker genom vatten med en konstant hastighet pga gravitationen. Bestäm klotets hastighet. Vattentemperaturen är 20°C.

LÖSNINGAR

2. (Lösningen redovisas under föreläsning 19)

Answer: The flowrate is 61 l/s in the pipe

3.

a) Communicating vessels $\Rightarrow z_{surgetank} = 60$ m

b) Energy equation, Reservoir $\rightarrow$ Outlet

$0 + 60 + 0 = 0 + 0 + U^2/2g + h_{friction} + H_{turbine}$

$H_{turbine} = 45$ m, $h_{friction} = f(L/D)(U^2/2g) = 16.7 \cdot U^2/2g$

$\Rightarrow (1+16.7) \cdot U^2/2g = 60 - 45 \Rightarrow$

$U = 4.08$ m/s $\Rightarrow Q = 28.8$ m^3/s

Energy equation, Reservoir $\rightarrow$ point in channel below surge tank

$0 + 60 + 0 = p/\gamma + z + 4.08^2/2g + 0.01 \cdot (4500/3) \cdot (4.08^2/2g) \Rightarrow$

$\Rightarrow z_{surgetank}$ (piezometer level) $= p/\gamma + z = 46.4$ m

Answer: a) 60 m, b) 28.8 m^3/s and 46.4 m

4.

Notation: Let S_A (= 100 m^2) stand for surface area in reservoir A and S_B (= 50 m^2) stand for surface area in reservoir B.

Energy equation from A to B:

$$0 + z_A + 0 = 0 + z_B + 0 + h_{friction} + \sum h_{local}$$

Hydraulic radius for the pipe:

$R_H = A/P = (0.3 \cdot 0.2)/(2 \cdot 0.3 + 2 \cdot 0.2) = 0.06$ m

Darcy-Weisbach's law:

$$h_f = f\frac{L}{4R_H}\frac{1}{2gA^2}Q^2 = 0.025\frac{200}{(4\cdot 0.06)}\frac{1}{2g\cdot 0.06^2}Q^2 = 295\cdot Q^2$$

$$\sum h_{local} = 4.0\frac{V^2}{2g} = \frac{4}{2gA^2}Q^2 = \frac{4}{2g\cdot 0.06^2}Q^2 = 57\cdot Q^2$$

$$\Rightarrow \qquad z_A - z_B = (295+57)\cdot Q^2 = 352\cdot Q^2 \tag{1}$$

Continuity ⇒ Volume of water leaving reservoir A = volume of water entering reservoir B:

$(12 - z_A)\cdot S_A = (z_B - 4)\cdot S_B$ ⇒

$z_B = (S_A/S_B)\cdot(12 - z_A) + 4 = (100/50)\cdot(12 - z_A) + 4 = 28 - 2\cdot z_A$ (2)

Insert (2) in (1):

$$z_A - (28 - 2\cdot z_A) = 3\cdot z_A - 28 = 352\cdot Q^2 \tag{1'}$$

$$Q = \sqrt{\frac{3\cdot z_A - 28}{352}} = \sqrt{0.00852\cdot z_A - 0.0795} \tag{1''}$$

Continuity equation for reservoir A:

$$S_A\cdot\frac{dz_A}{dt} = (Q_{in} - Q_{out}) = (0 - \sqrt{0.00852\cdot z_A - 0.0795}) \tag{3}$$

Integrate from t = 0 (z_A = 12 m) to t = t (z_A = 10 m)

$$\int_0^t dt = -S_A\int_{12}^{10}\frac{dz_A}{\sqrt{0.00852\cdot z_A - 0.0795}} \qquad \Rightarrow$$

$$t = \frac{2\cdot S_A}{0.00852}\left[\sqrt{0.00852\cdot z_A - 0.0795}\right]_{10}^{12} = 1767 \text{ sec}.$$

Answer: It will take 1767 seconds to lower the water level from +12 m to +10 m in reservoir A.

5. (Lösningen redovisas under föreläsning 19)

Answer: Q_1 = 20.2 l/s, Q_2 = 10.3 l/s, Q_3 = 3.5 l/s, and Q_4 = 6.4 l/s

6.

Notation: 1 – reservoir surface, 2 – pressure gage, and 3 - point at sea surface above pipe exit.

Energy equation 2 to 3:

$$\frac{p_2}{g} + z_2 + \frac{V_2^{\ 2}}{2g} = \frac{p_3}{g} + z_3 + \frac{V_3^{\ 2}}{2g} + h_{f,2\rightarrow 3}$$

p_2 = 50 kPa, z_2 = 2 m, $p_3 = z_3 = V_3 = 0$

$h_{f,2\rightarrow 3} - V_2^2/2g = (f\cdot(2000/0.3) - 1)\cdot V^2/2g = (6667\cdot f - 1)\cdot V^2/2g$

$$\Rightarrow \qquad (6667\cdot f - 1)\frac{V^2}{2g} = \frac{50\cdot 10^3}{9.81\cdot 10^3} + 2 = 7.10 \qquad \Rightarrow \qquad V = \sqrt{\frac{2g\cdot 7.10}{6667\cdot f - 1}}$$

Assume f = 0.02 $\Rightarrow$ V = 1.03 m/s

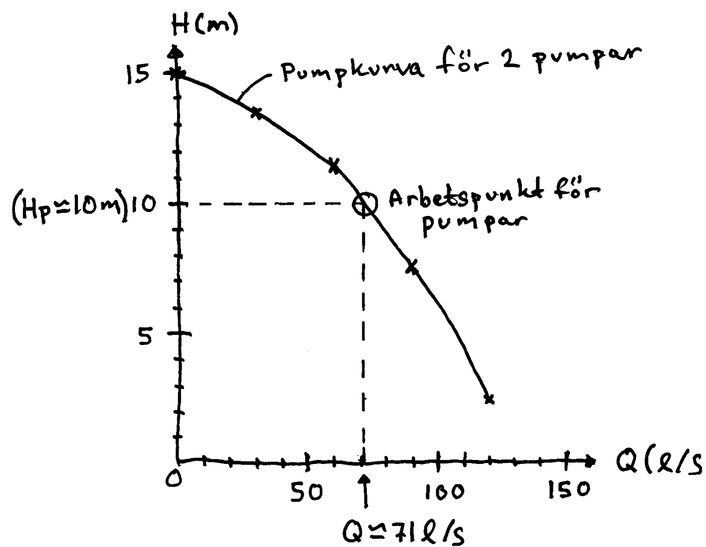
T = 20°C $\Rightarrow$ $\nu = 1.0\cdot 10^{-6}$ m²/s

Re = $VD/\nu = 1.03\cdot 0.3/1.0\cdot 10^{-6} = 3.1\cdot 10^5$,
k_s/D = 0.3/300 = 0.001 $\Rightarrow$ (Moody diagram) f = 0.021≠0.02 NOT OK!

f = 0.021 $\Rightarrow$ V = 1.00 m/s

Re = $3.0\cdot 10^5$, k_s/D = 0.001 $\Rightarrow$ (Moody diagram) f = 0.021 OK!

Q = V·A = $1.00\cdot\pi\cdot(0.3^2/4)$ = 70.7 l/s



Energy equation 1→3:

$0 + 5 + 0 + H_P = 0 + 0 + 0 + h_{f,1\rightarrow 3} + h_{valve}$

$H_P = 10$ m (from fig. above)

$h_{f,1\rightarrow 3} = (0.021 \cdot 4000/0.3) \cdot (1^2/2g) = 14.27$ m

$h_{valve} = K_{valve} \cdot (1^2/2g) = 0.051 \cdot K_{valve}$

$\Rightarrow \quad 5 + 10 = 14.27 + 0.051 \cdot K_{valve} \quad \Rightarrow \quad K_{valve} = 14.3$

Answer: Q = 71 l/s, K_{valve} = 14.3

7.

Notation: Let J stand for the junction between the three pipes, and H_J stand for the energy head at J.

Determine first the flowrates when the valve in pipe 2 is completely open.

Energy equation,

A→J: $250 = H_J + h_{f1}$
J→B: $H_J = 70 + h_{f2}$
J→C: $H_J = 50 + h_{f3}$

Determine hydraulic radius, R_H, relative roughness, $k_s/(4R_H)$, and friction factor, f, for each pipe:

$R_{H1} = 0.5^2/(4 \cdot 0.5) = 0.125$ m, $(k_s/(4R_H))_1 = 5/500 = 0.01 \Rightarrow f_1 = 0.038$ (Moody)
$R_{H2} = 0.4^2/(4 \cdot 0.4) = 0.100$ m, $(k_s/(4R_H))_2 = 4/400 = 0.01 \Rightarrow f_2 = 0.038$ (Moody)

$R_{H3} = 0.3^2/(4\cdot 0.3) = 0.075$ m, $(k_s/(4R_H))_3 = 3/300 = 0.01 \Rightarrow f_3 = 0.038$ (Moody)

$A_1 = 0.25$ m^2, $A_2 = 0.16$ m^2, and $A_3 = 0.09$ m^2

Darcy-Weisbach's formula:

$$h_{f1} = f_1 \frac{L_1}{(4\cdot R_{H1})}\frac{1}{2gA_1^{\ 2}}Q_1^{\ 2} = 0.038\frac{20000}{0.5}\frac{1}{2g\cdot 0.25^2}Q_1^{\ 2} = 1239\cdot Q_1^2$$

$$h_{f2} = f_2 \frac{L_2}{(4\cdot R_{H2})}\frac{1}{2gA_2^{\ 2}}Q_2^{\ 2} = 0.038\frac{7000}{0.4}\frac{1}{2g\cdot 0.16^2}Q_2^{\ 2} = 1324\cdot Q_2^2$$

$$h_{f3} = f_3 \frac{L_3}{(4\cdot R_{H3})}\frac{1}{2gA_3^{\ 2}}Q_3^{\ 2} = 0.038\frac{10000}{0.3}\frac{1}{2g\cdot 0.09^2}Q_3^{\ 2} = 7970\cdot Q_3^2$$

Summary of relevant equations:

$H_J = 250 - 1239\cdot Q_1^2$
$H_J = 70 + 1324\cdot Q_2^2$
$H_J = 50 + 7970\cdot Q_3^2$
$Q_1 = Q_2 + Q_3$

Use T&E by assuming H_J:

Guess	Results	Check
$H_J = 125$ m	$Q_1 = 318$ l/s	$Q_2 + Q_3 = 204 + 97 =$
	$Q_2 = 204$ l/s	$301 \neq Q_1 = 318$
	$Q_3 = 97$ l/s	NOT OK!
$H_J = 130$ m	$Q_1 = 311$ l/s	$Q_2 + Q_3 = 213 + 100 =$
	$Q_2 = 213$ l/s	$313 \neq Q_1 = 311$
	$Q_3 = 100$ l/s	NOT OK!
$H_J = 129.5$ m	$Q_1 = 312$ l/s	$Q_2 + Q_3 = 212 + 100 =$
	$Q_2 = 212$ l/s	$312 = Q_1 \Rightarrow$ OK!
	$Q_3 = 100$ l/s	

Reduce Q_2 with 50% $\Rightarrow$ $Q_{2,NEW} = 106.5$ l/s $\Rightarrow$ $Q_3 = Q_1 - 0.1065$

Energy equation A$\rightarrow$C:

$250 = 50 + h_{f1} + h_{f3}$

$h_{f1} = 1239\cdot Q_1^2$
$h_{f3} = 7970\cdot Q_3^2 = 7970\cdot(Q_1 - 0.1065)^2 = 7970\cdot Q_1^2 - 1698\cdot Q_1 + 90.4$

$\Rightarrow \quad 200 = 1239\cdot Q_1^2 + 7970\cdot Q_1^2 - 1698\cdot Q_1 + 90.4$

$\Rightarrow \quad Q_1^2 - 0.1844\cdot Q_1 - 0.0119 = 0$

$\Rightarrow \quad Q_1 = 235$ l/s $\quad \Rightarrow \quad Q_3 = 129$ l/s $\quad \Rightarrow \quad \Delta Q_3 = 129 - 100 = 29$ l/s

Answer: The increase in flowrate to reservoir C will be 29 l/s

8. (Lösningen redovisas under föreläsning 19)

Svar: y_2 = 1.89 m

9.

a) Vi har kritisk strömning över tröskeln ($y_2 = y_c$):

$$q = \sqrt{y_c^3 \cdot g} = 1.456\ m^2/s\ , \quad E_2 = \frac{3}{2} \cdot y_c = 0.9\ m$$

Svar a) q = 1.46 $m^3/(s \times m)$

b) Energiekvationen mellan 1 och 2:

$$E_1 = E_2 + h \quad \Leftrightarrow \quad y_1 + \frac{q^2}{2g \cdot y_1^2} = E_2 + h \quad \Leftrightarrow$$

$$y_1 + \frac{1.456^2}{2g \cdot y_1^2} = 0.9 + 0.4 \quad \Rightarrow \quad y_1 + \frac{0.108}{y_1^2} = 1.3$$

Bestäm y_1 numeriskt:

y_1 (m)	Vänsterled
1.2	1.27
1.25	1.32
1.23	1.30 = HL OK!!

Svar b) y_1 = 1.23 m

10.

Använd Mannings ekvation för att bestämma vattenhastigheten, V_1 (Bred kanal $\Rightarrow R_H \approx y$):

$$V_1 = \frac{1}{n} \cdot R_{H1}^{2/3} \cdot \sqrt{S_0} = \frac{1}{0.015} \cdot y_1^{2/3} \cdot \sqrt{\tan 0.02°} = 1.246 \cdot y_1^{2/3}$$

Kontinuitetsekvationen ger:

$$V_1 \cdot y_1 = V_2 \cdot y_2 \quad \Rightarrow \quad V_2 = \frac{V_1 \cdot y_1}{y_2} = \frac{1.246 \cdot y_1^{2/3} \cdot y_1}{0.5} = 2.491 \cdot y_1^{5/3}$$

Energiekvationen mellan 1 och 2:

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \Leftrightarrow \quad y_1 + \frac{(1.246 \cdot y_1^{2/3})^2}{2g} = 0.1 + 0.5 + \frac{(2.491 \cdot y_1^{5/3})^2}{2g} \quad \Rightarrow$$

$$y_1 + 0.0791 \cdot y_1^{4/3} - 0.316 \cdot y_1^{10/3} = 0.6$$

Bestäm y_1 numeriskt

y_1 (m)	Vänsterled
0.65	0.619
0.62	0.598
0.623	0.600 = HL OK!!

$$V_1 = 1.246 \cdot y_1^{2/3} = 0.909\ m/s \quad \Rightarrow \quad q = V_1 \cdot y_1 = 0.566\ \mathrm{m^3/(s \cdot m)}$$

Svar: q = 0.57 $m^3/(s \cdot m)$

11. (Lösningen redovisas under föreläsning 19)

Svar: Sträckan L » 4000 m (4 steg användes i stegberäkning)

12.

Det kritiska vattendjupet, y_c, är

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{(0.7/2)^2}{g}\right)^{1/3} = 0.23\ m$$

Bestäm först naturliga vattendjupet, y_n, på sträckan AB genom Mannings ekvation::

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{S_0} = \frac{1}{0.013} \cdot (y_n \cdot 2) \cdot (y_n \cdot 2)^{2/3} \cdot (2 \cdot y_n + 2)^{-2/3} \cdot \sqrt{0.00040} \quad \Rightarrow$$

$$Q = 0.7 = 4.884 \cdot y_n^{5/3} \cdot (2 \cdot y_n + 2)^{-2/3}$$

Bestäm y_n numeriskt

Y_n (m)	Högerled
0.5	0.74
0.45	0.64
0.48	0.70 = VL OK!!

Således är $y_{n,AB} > y_c$ och vi har underkritisk strömning på sträckan AB.

Nästa steg är att bestämma det naturliga vattendjupet, y_n, på sträckan BC genom Mannings ekvation::

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{S_0} = \frac{1}{0.013} \cdot (y_n \cdot 2) \cdot (y_n \cdot 2)^{2/3} \cdot (2 \cdot y_n + 2)^{-2/3} \cdot \sqrt{0.025} \quad \Rightarrow$$

$$Q = 0.7 = 38.61 \cdot y_n^{5/3} \cdot (2 \cdot y_n + 2)^{-2/3}$$

Bestäm y_n numeriskt

Y_n (m)	Högerled
0.1	0.49
0.12	0.66
0.13	0.75
0.125	0.70 = VL OK!!

Därmed är $y_{n,BC} < y_c$ och vi har överkritisk strömning på sträckan BC.

Således har vi en kritisk sektion vid B. Till vänster om B har vi en övergångszon där vattendjupet går från det naturliga för sträckan AB till det kritiska vid B. Till höger om B har vi en annan övergångszon där vattendjupet går från det kritiska vid B till det naturliga längre nedströms på sträckan BC.

För att bestämma vattenyteprofilen för dessa båda övergångszoner i kanalen behandlar vi delsträckorna AB och BC separat. Vi gör stegberäkningar med tre steg för var och en av de båda delsträckorna.

Stegberäkning - AB

Y (m)	A=2y (m^2)	R_H = A/(2y+2), (m)	V (m/s)	E = y+ $V^2/2g$ (m)	ΔE (m)	V_m (m/s)	R_{Hm} (m)	S = $(nV_m/R_{hm}^{2/3})^2$	Δx = $\Delta E/(S-S_0)$ (m)
0.48	0.96	0.324	0.729	0.507					
					0.043	0.772	0.312	0.000476	566
0.43	0.86	0.301	0.814	0.464					
					0.077	0.938	0.274	0.000835	177
0.33	0.66	0.248	1.061	0.387					
					0.039	1.292	0.218	0.002150	22
0.23	0.46	0.187	1.522	0.348					
									Σ =765 m

Stegberäkning - BC

Y (m)	A=2y (m^2)	R_H = A/(2y+2), (m)	V (m/s)	E = y+ $V^2/2g$ (m)	ΔE (m)	V_m (m/s)	R_{Hm} (m)	S = $(nV_m/R_{hm}^{2/3})^2$	Δx = ΔE/(S-S_0) (m)
0.23	0.46	0.187	1.522	0.348					
					-0.025	1.733	0.170	0.0054	1.3
0.18	0.36	0.153	1.944	0.373					
					-0.085	2.222	0.138	0.0117	6.4
0.14	0.28	0.123	2.500	0.458					
					-0.067	2.650	0.117	0.0207	15.6
0.125	0.25	0.111	2.800	0.525					
									Σ = 23 m

Svar: Vattendjupet i kanalen går från det naturliga djupet 0.48 m vid A (765 m från B) till det kritiska 0.23 m vid B för att sedan minska ytterligare till det naturliga vattendjupet vid C (23 m nedströms B). Vattendjupets variation från A till C är angiven ovan i stegberäkningarna.

13.

Vid temperaturen 0°C är $\rho = 1.293$ kg/m^3 och $\nu = 13.2 \cdot 10^{-6}$ m^2/s för luft (Tabell A.2 i appendix A i F&F).

Dragkraften ges av:

$$F_D = C_D \cdot r \cdot \frac{V^2}{2} \cdot A = C_D \cdot 1.293 \cdot \frac{15^2}{2} \cdot 17 \cdot 0.1 = 247.3 \cdot C_D$$

C_D bestäms med hjälp av Reynolds tal och Fig 9.13 i F&F

$$\mathrm{Re} = \frac{VD}{n} = \frac{15 \cdot 0.1}{13.2 \cdot 10^{-6}} = 1.14 \cdot 10^5 \quad \Rightarrow \quad C_D = 1.2 \quad \Rightarrow$$

$$F_D = 247.3 \cdot 1.2 = 297\ N \quad \Rightarrow \quad M = F_D \cdot 8.5 = 2522\ Nm$$

Svar: Momentet av dragkraften kring pålens bas är 2522 Nm

14.

För vatten vid temperaturen 20°C har vi $\rho = 998.2$ kg/m^3 och $\nu = 1.00 \cdot 10^{-6}$ m^2/s (Tabell A.1 i appendix A i F&F).

Eftersom klotets sjunkhastighet är konstant har vi kraftjämvikt. Således balanseras den nedåtriktade tyngdkraften av klotet med den uppåtriktade lyftkraften som verkar på klotet plus den uppåtriktade dragkraften:

$$m_{klot} \cdot g = F_B + F_D$$

$$F_B = r \cdot g \cdot p \cdot \frac{D^3}{6} = 998.2 \cdot 9.81 \cdot p \cdot \frac{0.07^3}{6} = 1.75\ N$$

Dragkraften ges av:

$$F_D = C_D \cdot r \cdot \frac{V^2}{2} \cdot A = C_D \cdot 998.2 \cdot \frac{V^2}{2} \cdot p \cdot \frac{0.07^2}{4} = 1.92 \cdot C_D \cdot V^2$$

Detta ger:

$$0.35 \cdot 9.81 = 1.75 + 1.92 \cdot C_D \cdot V^2 \quad \Rightarrow \quad V = \sqrt{\frac{0.877}{C_D}}$$

Gissa ett värde på C_D!

$C_D = 0.4 \quad \Rightarrow \quad V = 1.48$ m/s

Kontrollera C_D

C_D bestäms med hjälp av Reynolds tal och Fig 9.10 i F&F

$$\text{Re} = \frac{VD}{n} = \frac{1.48 \cdot 0.07}{1.0 \cdot 10^{-6}} = 1.04 \cdot 10^5 \quad \Rightarrow \quad C_D \approx 0.5 \neq 0.4!$$

Försök igen med $C_D = 0.5 \quad \Rightarrow \quad V = 1.32$ m/s

$$\text{Re} = \frac{VD}{n} = \frac{1.32 \cdot 0.07}{1.0 \cdot 10^{-6}} = 9.2 \cdot 10^4 \quad \Rightarrow \quad C_D \approx 0.5 \quad OK!$$

Svar: Klotets sjunkhastighet är 1.32 m/s